



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Off nlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 13 299 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**H 04 N 17/00**

⑳ Aktenzeichen: 100 13 299.5  
㉑ Anmeldetag: 9. 3. 2000  
㉒ Offenlegungstag: 27. 9. 2001

**DE 100 13 299 A 1**

㉑ **Anmelder:**  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,  
53175 Bonn, DE  
  
㉒ **Vertreter:**  
Patentanwälte Effert, Bressel und Kollegen, 12489  
Berlin

㉑ **Erfinder:**  
Kugler, Heike, 12435 Berlin, DE; Skrbek, Wolfgang,  
Dr., 10369 Berlin, DE; Eckardt, Andreas, 12524  
Berlin, DE

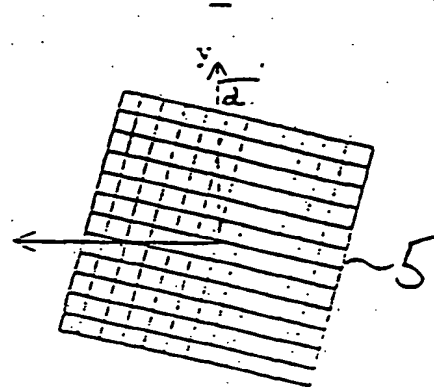
⑤⑥ **Entgegenhaltungen:**  
DE 197 27 281 C1  
US 52 45 413

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Verfahren und Vorrichtung zur geometrischen Kalibrierung pixelorientierter photosensitiver Elemente**

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung (1) zur geometrischen Kalibrierung pixelorientierter photosensitiver Elemente, mit einer kohärenten Lichtquelle und einem Hologramm, wobei die Lichtquelle und das Hologramm derart zueinander angeordnet sind, daß bei Bestrahlung des Hologramms eine optische Teststruktur um die pixelorientierten photosensitiven Elemente erzeugt wird, wobei die Teststruktur relativ zu den pixelorientierten photosensitiven Elementen bewegt wird, wobei während der Bewegung die photosensitiven Elemente mehrfach abgetastet werden, so daß mittels der zueinander verschobenen Abtastwerte die Punktverschmierungsfunktion PSF der photosensitiven Elemente ermittelt werden kann.



**DE 100 13 299 A 1**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur geometrischen Kalibrierung pixelorientierter photosensitiver Elemente, umfassend eine kohärente Lichtquelle und ein Hologramm, das zur Erzeugung einer optischen Teststruktur um die pixelorientierten photosensitiven Elemente herum dient.

Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise aus der DE 197 27 281 bekannt. Hierbei wird mittels eines Hologramms eine wohldefinierte dreidimensionale Teststruktur um die Fokalebene einer CCD-Kamera herum erzeugt, aus deren Funktionswerten eineindeutig auf die jeweilige Schnittebene zurückgeschlossen werden kann. Dadurch ist die jeweilige geometrische Ausrichtung jedes einzelnen Pixels durch eine einzige Aufnahme gleichzeitig bestimmbar. Anhand der PSF kann dann eine Scharfeinstellung vorgenommen werden, nämlich die Bestimmung des Abstandes der Fokalebene von einer Hauptebene des optischen Systems. Hierbei tritt jedoch bei pixelorientierten Elementen wie beispielsweise bei einem CCD-Element das Problem auf, daß die Zentrumslage der abgebildeten Punkte innerhalb der Pixelfläche nicht sicher ermittelt werden kann. Das ist vor allem dann der Fall, wenn eine Rekonstruktion der PSF durch Beleuchtung zu weniger benachbarter Pixel nicht gesichert ist, was beispielsweise bei einem scharf abbildenden Objektiv auftritt. Dadurch sind Genauigkeiten der geometrischen Zuordnung im Subpixelbereich nicht erreichbar. Des weiteren können Justagefehler wie beispielsweise eine Verkipfung der Fokalebene bzw. die Schärfe der Abbildung nicht oder nur näherungsweise bestimmt werden.

Der Erfindung liegt daher das technische Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur geometrischen Kalibrierung pixelorientierter photosensitiver Elemente zu schaffen, mittels derer Genauigkeiten im Subpixelbereich erreichbar sind.

Die Lösung des technischen Problems ergibt sich durch die Gegenstände mit den Merkmalen der Patentansprüche 1, 8, 9 und 10. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Hierzu wird eine Bewegung der Teststruktur erzeugt und während des Bewegungsvorganges das Ausgangssignal der pixelorientierten photosensitiven Elemente mehrfach abgetastet. Die Meßergebnisse werden in oder auf einem geeigneten Speichermedium zwischengespeichert und anschließend zur Bestimmung der PSF ausgewertet. Die Anzahl der Abtastungen ist dabei beliebig und ist nur abhängig von den Genauigkeitsanforderungen an die Rekonstruktion der PSF. Die Bewegung muß nur in Rahmen einer für die Rekonstruktion der PSF notwendigen Weite erfolgen, die normalerweise ein bis zwei Pixelabstände betragen muß.

Die Durchführung der Bewegung kann dabei prinzipiell auf verschiedene Art realisiert werden. Bei Vermessung einer Kamera kann diese beispielsweise translatorisch und/oder rotatorisch ausgelenkt werden. Ebenso kann das Hologramm oder der Referenzstrahl bewegt oder verkippt werden. Des weiteren ist eine Bewegung der Teststruktur dadurch realisierbar, daß schrittweise die holographische Struktur ausgewechselt wird oder mehrere holographische Strukturen zeitlich nacheinander hinzugefügt werden, die unterschiedliche Beugungsbilder erzeugen.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Bewegung mittels eines durchstimmbaren Lasers erzeugt, wobei ausgenutzt wird, daß die Wellenlänge des Lasers den Abbildungsmaßstab beeinflußt. Hierzu erfolgt eine definierte Variation des Referenzstrahls des durchstimmbaren Lasers. Der besondere Vorteil dieser Bewegungserzeugung ist, daß mechanisch die Lage der Kamera oder des Hologramms

nicht verändert werden müssen, da deren genaue Verschiebung entsprechend genaue Verstelleinrichtungen erfordern würde.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird eine zwischen der kohärenten Lichtquelle und dem Hologramm angeordnete Kollimatoroptik dejustiert, so daß sich der Einfallswinkel des Referenzstrahls verändert, so daß ebenfalls eine Bewegung der Teststruktur erzeugt wird.

Ein bevorzugtes Anwendungsgebiet des Verfahrens und der Vorrichtung ist die geometrische Kalibrierung von CCD-Zeilen- oder CCD-Matrix-Kameras.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Die Figur zeigen:

Fig. 1 einen prinzipiellen Aufbau einer Vorrichtung zur geometrischen Kalibrierung einer CCD-Kamera,

Fig. 2a ein holographisches Gitter in einer ersten Grundstellung,

Fig. 2b eine Punktmusterverteilung auf einer Fokalebene einer CCD-Zeilen-Kamera gemäß der ersten Grundstellung,

Fig. 3a das holographische Gitter nach Fig. 2a nach einer Drehung um den Winkel  $\alpha$  und

Fig. 3b die resultierende Punktmusterverteilung auf der Fokalebene des Gitters gemäß Fig. 3a.

In der Fig. 1 ist schematisch eine Vorrichtung 1 zur geometrischen Kalibrierung einer CCD-Kamera dargestellt. Die Vorrichtung 1 umfaßt einen Laser 2, ein Mikroskopobjektiv 3 zur Aufweitung des Laserstrahles, eine Kollimatoroptik 4 und ein holographisches Gitter 5. Das Gitter 5 erzeugt ein reales Bild mit einer Punktmusterverteilung auf einer Fokalebene 6 einer CCD-Kamera, von der nur ein vor der Fokalebene 6 angeordnetes Objektiv 7 dargestellt ist. Auf der Fokalebene 6 sind CCD-Zeilen-Sensoren oder eine CCD-Matrix angeordnet, die pixelorientiert die einfallende Strahlung in elektrische Signale umsetzen. Das reale Bild des Gitters 5 bildet eine wohldefinierte Teststruktur, so daß durch Abtastung der einzelnen Pixel aufgrund der Punktmusterverteilung eine geometrische Information der Ausrichtung der Pixel erhältlich ist.

In den Fig. 2a und 2b ist das ausgerichtete Gitter und die resultierende Punktmusterverteilung stark vereinfacht dargestellt. Auf der Fokalebene 6 sind drei CCD-Zeilen 8 angeordnet, auf denen bestimmt Bildpunkte erzeugt werden, wobei jedoch die Lage eines Bildpunktes innerhalb eines Pixels nicht ermittelbar ist.

In den Fig. 3a und 3b sind die Verhältnisse nach Drehung des Gitters 5 um den Winkel  $\alpha$  dargestellt. Durch die Drehung des Gitters 5 wird eine entsprechend gedrehte Punktmusterverteilung erzeugt und die Pixel der CCD-Zeilen 8 erneut abgetastet. Da die Bewegung der Bildpunkte bekannt ist, kann aus der Änderung der Ausgangssignale auf die genaue Lage der Pixel zurückgeschlossen werden. Anschaulich läuft ein Bildpunkt über ein Pixel, so daß aufgrund der Änderung der Ausgangssignale bestimmbar ist, wann ein Bildpunkt das Pixel verläßt. Somit läßt sich die Lage der Pixel im Subpixel-Bereich genau bestimmen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur geometrischen Kalibrierung pixelorientierter photosensitiver Elemente, mittels einer kohärenten Lichtquelle und eines Hologramms, wobei die Lichtquelle und das Hologramm derart zueinander angeordnet sind, daß bei Bestrahlung des Hologramms eine optische Teststruktur um die pixelorientierten photosensitiven Elemente erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Teststruktur relativ zu den pixelorientierten photosensitiven Elementen bewegt wird, wobei während der Bewegung die photosensitiven Elemente

mehrfach abgetastet werden, so daß mittels der zueinander verschobenen Abtastwerte die Punktverschmierungsfunktion PSF der photosensitiven Elemente ermittelt werden kann.

2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Bewegung der Teststruktur durch eine Verdrehung des Hologramms erzeugt wird. 5

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zeitlich verschiedene Hologramme wechselweise verwendet werden. 10

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Hologramme zeitlich sukzessive hinzugefügt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge der kohärenten Lichtquelle 15 definiert variiert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, mittels einer zwischen der kohärenten Lichtquelle und dem Hologramm angeordneten Kollimatoroptik, dadurch gekennzeichnet, daß die Kollimatoroptik bewegt wird. 20

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Bewegung der Teststruktur über mindestens ein bis zwei Pixel erstreckt.

8. Vorrichtung zur geometrischen Kalibrierung pixelorientierter photosensitiver Elemente, umfassend eine kohärente Lichtquelle und ein Hologramm zur Erzeugung einer wohldefinierten Teststruktur, dadurch gekennzeichnet, daß dem Hologramm eine Vorrichtung zur Drehung des Hologramms zugeordnet ist. 25 30

9. Vorrichtung zur geometrischen Kalibrierung pixelorientierter photosensitiver Elemente, umfassend eine kohärente Lichtquelle und ein Hologramm zur Erzeugung einer wohldefinierten Teststruktur, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge der kohärenten 35 Lichtquelle veränderbar ist.

10. Vorrichtung zur geometrischen Kalibrierung pixelorientierter photosensitiver Elemente, umfassend eine kohärente Lichtquelle und ein Hologramm zur Erzeugung einer wohldefinierten Teststruktur, dadurch gekennzeichnet, daß der Kollimatoroptik eine Stelleinrichtung zugeordnet ist, mittels deren diese bewegbar ist. 40

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die kohärente Lichtquelle 45 als Laser ausgebildet ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Hologramm als Gitter ausgebildet ist. 50

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

55

60

65

Fig. 1

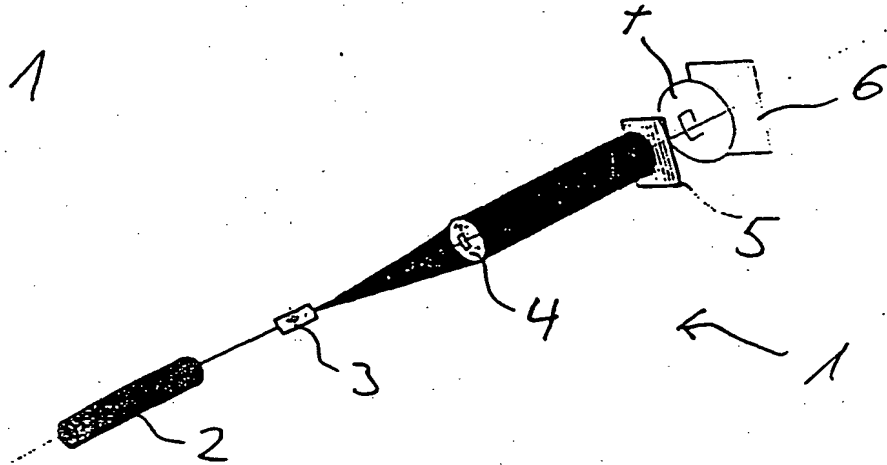


Fig. 2a

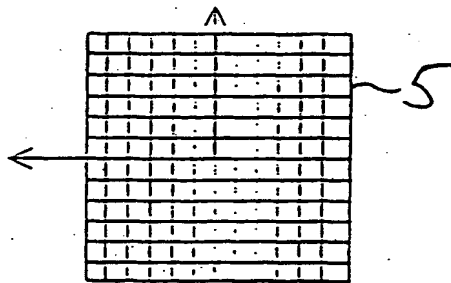


Fig. 2b

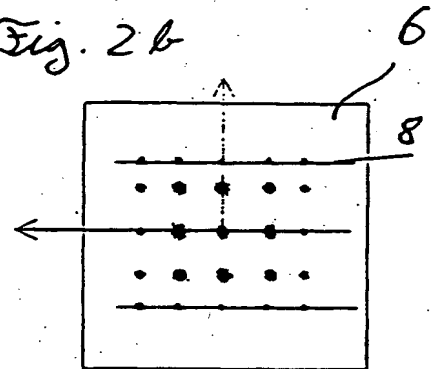


Fig. 3a

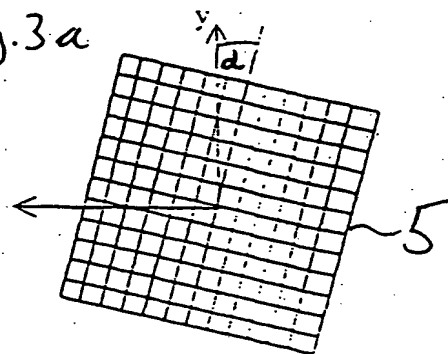


Fig. 3b

